

# Técnica para modificar el espectro Brillouin en fibras ópticas

Angel Ullan, Carlos Galindez, Francisco J. Madruga, Ana M. Cubillas, Jose M. Lopez-Higuera.  
angel.ullan@unican.es, carlos.galindez@unican.es, francisco.madruga@unican.es, cubillasam@unican.es,  
miguel.lopezhiguera@unican.es.

Grupo de Ingeniería Fotónica. Dpto. TEISA. Universidad de Cantabria. Av. Los Castros s/n. Edificio  
Laboratorios I+D. Plaza de la Ciencia. Santander 39005 (España)

**Abstract-** A new simple technique to modify the Brillouin scattering gain spectrum in optical fibers is presented. It is based on the superposition of the Brillouin scattering gain spectra of several concatenated fibers. The overall spectrum is the superposition of the specific spectra of each fiber. Customized gain spectra can be obtained by choosing the appropriate fiber combination. These technique has been successfully checked in the laboratory with a wide set of experiments. For instance, several pieces of different SMF have been combined to build up an M-shaped Brillouin gain curve with a bandwidth of 280 nm. The reject band is placed 10.78 GHz away from the pump frequency.

## I. INTRODUCCIÓN

El efecto de scattering Brillouin es muy utilizado en sensado distribuido, láseres de línea muy estrecha, giróscopos y filtros ópticos así como para generar luz lenta o luz rápida, entre otras aplicaciones (1). Desde que en 1989 surgiese la idea de utilizar el scattering Brillouin como elemento sensor de temperatura (2) y tensión (3), una intensa investigación ha sido llevada a cabo. En la actualidad podemos conocer la temperatura y la tensión en cualquier punto de una fibra analizando el salto en frecuencia debido al scattering Brillouin. Gracias a la relativamente pequeña anchura de la curva de ganancia (50 MHz en fibras de silicio), el scattering Brillouin estimulado (SBS) permite el desarrollo de láseres de línea muy estrecha (4). Este hecho también permite la utilización del SBS para crear filtros ópticos muy estrechos y sintonizables. Recientemente este fenómeno ha sido aprovechado para la creación de un dispositivo analizador de espectros ópticos, denominado BOSA (Brillouin Optical Spectrum Analyzer) cuya principal característica es una gran resolución espectral (80fm.)(5). Sin embargo, esta curva de ganancia tan estrecha limita la utilización de amplificadores basados en SBS. En los últimos años se han realizado intentos de ensanchar la curva de ganancia Brillouin por medio del ensanchamiento del espectro del bombeo (6).

En este artículo se presenta por primera vez un método simple para modelar y ensanchar el espectro de ganancia Brillouin en fibras ópticas.

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio utilizado en esta técnica está ilustrado en la figura 1. Cada SMF presenta una curva de ganancia Brillouin característica. Los parámetros de esta curva dependen de las

características físicas de la fibra como su densidad y su índice de refracción y de las características ópticas del bombeo como su longitud de onda y su anchura espectral. Por lo tanto, el espectro de ganancia Brillouin total es la superposición de las curvas de ganancia de las diferentes fibras colocadas en línea.

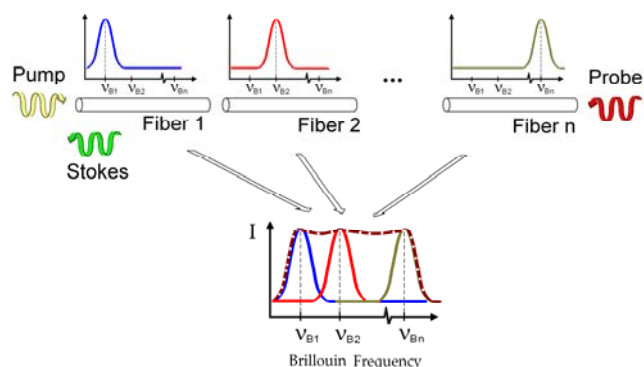


Fig.1. Superposición del espectro de ganancia Brillouin de varias fibras concatenadas.

Para verificar esto experimentalmente, se ha realizado en el laboratorio el montaje conocido como “configuración pump-probe” (7) como se muestra en la figura 2. El bombeo interactúa con una señal de prueba (o sonda) produciéndose un acoplo local entre ambas cuando la diferencia entre sus frecuencias corresponde exactamente con el salto en frecuencia debido al scattering Brillouin. A fin de mantener la coherencia entre las dos ondas y la estabilidad en frecuencia, generamos la sonda a partir de la onda de bombeo. Esto se consigue modulando el bombeo mediante un modulador electro-óptico tipo Mach-Zehnder. La elección de este tipo de modulador se basa en su calidad de modulación libre de espurios. Así, la banda lateral inferior de la señal modulada será nuestra señal de prueba. Modificando la frecuencia de modulación podemos hacer que la sonda coincida en frecuencia con la onda Stokes, generada tras el proceso de scattering Brillouin de la onda de bombeo, produciéndose así la amplificación por SBS. La detección se realiza mediante la técnica heterodina.

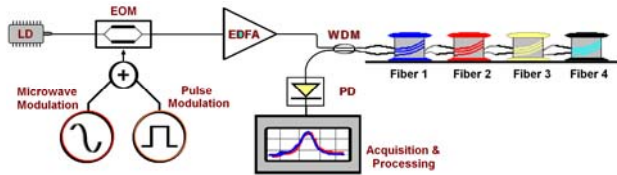


Fig. 2. Montaje experimental para medir la curva de ganancia Brillouin en fibras ópticas.

### III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En primer lugar, hemos utilizado dos fibras diferentes de 5 metros de longitud colocadas en línea y bombeadas con la misma intensidad a 1550nm. Las curvas de ganancia Brillouin para cada una de las fibras por separado se muestran en la figura 3. El salto en frecuencia debido al scattering Brillouin es de 10.84 GHz para la fibra SIECOR-0.2 (negra) y de 10.91 GHz para la SMF-5417 (roja). La curva de ganancia Brillouin para las dos fibras concatenadas se muestra en azul en la figura 3. Como se puede observar, esta curva se corresponde muy bien con la superposición de las dos curvas de partida, como se esperaba teóricamente.

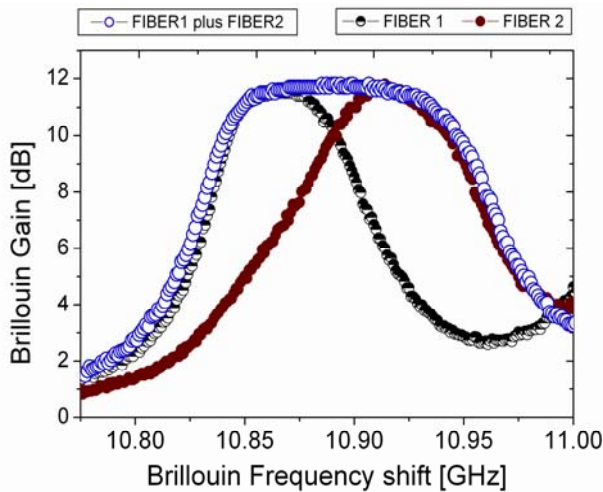


Fig. 3. Curva de ganancia Brillouin para un segmento de 5m. de longitud de SIECOR-0.2 (negro) y SMF-5417 (rojo). La curva azul corresponde a la ganancia Brillouin de las 2 fibras concatenadas.

Con esta técnica y usando las fibras apropiadas, la curva de ganancia Brillouin puede ensancharse y modelarse. Se han obtenido anchuras de 280 MHz combinando 4 fibras. Para demostrar la capacidad de modelado del espectro de ganancia Brillouin se llevo a cabo un experimento que trataba de generar una curva de ganancia en forma de M. Cuatro pedazos de 5 m. de diferentes fibras monomodo fueron colocados en línea. Los tipos de fibra utilizados fueron: SIECOR-0.2, SMF-5417, Teralight y Plasma. Los resultados se muestran en la figura 4. Se observa una curva de ganancia con forma de M donde la banda de rechazo se sitúa en 10.78 GHz. La anchura total es de 280 MHz.

Por lo tanto, hemos demostrado que el espectro de ganancia total puede ser modelado a fin de obtener filtros paso banda, filtros rechazo banda o anchos de banda adaptados a la necesidades de una determinada aplicación usando SBS como mecanismo de amplificación óptica.

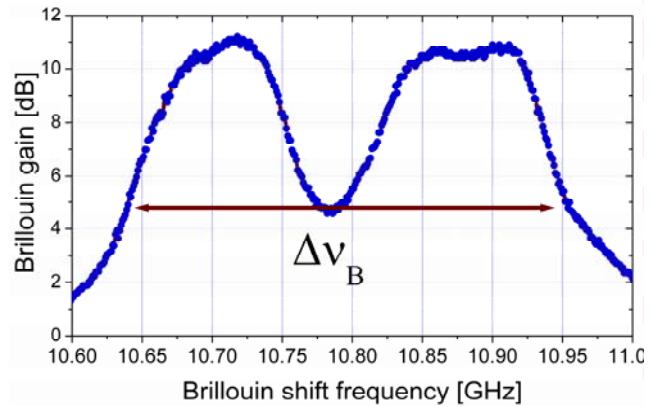


Fig. 4. Curva de ganancia Brillouin para una combinación de 4 fibras monomodo diferentes concatenadas. Las fibras utilizadas son SIECOR-0.2, SMF-5417, Teralight fiber y Plasma fiber.

### CONCLUSIONES

En resumen, una técnica nueva y sencilla para modelar y ensanchar el espectro de ganancia Brillouin ha sido presentada y demostrada en este artículo. Esta técnica está basada en la superposición de espectros de diferentes fibras, colocadas en línea y combinadas para crear un espectro total adaptable a las necesidades de cada aplicación. Esta técnica puede ser usada para desarrollar filtros o amplificadores ópticos a fin de manipular señales ópticas. Esto constituye una poderosa herramienta para el desarrollo de sistemas sintonizables completamente ópticos. En combinación con otras técnicas podría dar lugar a nuevos componentes para instrumentación y comunicaciones ópticas.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio español de Ciencia e Innovación a través del proyecto TEC2007-67987-C02-01.

### REFERENCIAS

- [1] J.M. López-Higuera, Ed., *Handbook of Optical Fibre Sensing Technology*, (John Wiley & Sons LTD, 2002).
- [2] D. Culverhouse, F. Farahi, C.N. Pannel and D.A: Jackson, " Potential of stimulated Brillouin Scattering as sensing mechanism for distributed temperature sensors", *Electronic Letters* **25**, 913-914, (1989).
- [3] T. Horiguchi, T.Kurashima, M.Tateda, "A technique to measure distributed strain in optical fibers", *Photonics Tech. Lett.* **2**, 352 (1990).
- [4] Donald R. Ponikvar and Shaoul Ezekiel, "Stabilized single-frequency stimulated Brillouin fiber ring laser", *Optics Letters*, Vol. 6, No 8, pp. 398-400 (1981).
- [5] Pelayo Zueco et al. ES 2 207 417 A1, Patent, (2004).
- [6] C.Jauregui, P. Petropoulos and D.J. Richardson, "Periodic signal processing using a Brillouin Gain Comb", *OFC/NFOEC*, (2008).
- [7] M. Niklès, L. Thévenaz, P.A. Robert. "Simple distributed fiber sensor based on Brillouin gain spectrum analysis". *Opt. Lett.* **21**, 758-760 (1996).